

[RE-127] МІКРОСИСТЕМНА ТЕХНІКА



Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	G - Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G5 - Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка
Освітня програма	Всі ОП
Статус дисципліни	Вибіркова (Ф-каталог)
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	Доступно для вибору починаючи з 3-го курсу, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 16 год, Практ. год, Лаб. 30 год, СРС. 74 год)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: Перебудов С. М. , Лаб.: Перебудов С. М. , СРС.: Перебудов С. М.
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/MjA5ODY1Nzc4MDAz?cjc=d22zvpr

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Стрімкий сучасної техніки різного призначення, зокрема телекомунікаційних та радіотехнічних систем, збільшення їх функціональних можливостей вимагає широкого застосування пристроїв мікросистемної техніки. Вони є подальшим розвитком електронних мікросхем, які крім обробки електричних сигналів виконують функції різноманітних датчиків та виконавчих елементів (актюаторів): механічних, теплових, оптичних та ін. Це дозволяє розробляти компактну та надійну апаратуру в різних галузях науки та техніки.

Дисципліна «Мікросистемна техніка» належить до циклу професійно-практичної підготовки.

Метою викладання дисципліни є формування знань про мікросистеми та їх компоненти, фізичні принципи функціонування пристроїв мікросистемної техніки, конструктивні особливості та базові технологічні операції виробничого процесу.

Предметом дисципліни є найважливіші компоненти і пристрої мікросистемної техніки: механічні, магнітні, теплові, хімічних та оптичні сенсори та актюатори, їх основні технічні характеристики, умови експлуатації та галузь застосування.

В результаті навчання у студента частково формуються такі компетенції: здатність самостійно здобувати і використовувати у практичній діяльності нові знання та вміння в своїй предметній області; готовність формувати завдання на розробку компонентів мікросистемної техніки; здатність проектувати елементи і пристрої мікросистемної техніки з використанням типових пакетів прикладних програм з урахуванням заданих вимог.

Студент має знати: фізичні основи функціонування компонентів та пристроїв МСТ; основні технічні характеристики найважливіших типів сенсорів та актюаторів; основні методи моделювання та етапи розробки мікросистемної техніки.

Студент повинен вміти: користуватися набутими знаннями при проектуванні, розробці та експлуатації апаратури, до складу якої входять мікропристрої; проводити аналіз перетворення сигналів вузлами таких пристроїв.

Студент набуває досвіду роботи з окремими компонентами мікросистемної техніки та їх застосуванням під час створення технічних систем різного функціонального призначення.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Міждисциплінарні зв'язки обумовлені місцем дисципліни «Мікросистемна техніка» у програмі підготовки фахівців в галузі мікросистемної техніки. Вона базується на загальній підготовці студентів з фізики, хімії, математики та інформатики. Дисциплінами професійного спрямування, що передують її вивченню, є: «Механіка радіоелектронної апаратури та мехатроніка», «Основи теорії кіл», «Електронні прилади та мікроелектроніка».

Дисципліна «Мікросистемна техніка» забезпечує вивчення дисциплін другого (магістерського) рівня вищої освіти ступеня: «Моделювання мікро- і наноструктур», «Комп'ютерні мережі та засоби телекомунікацій».

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	у тому числі		
		Лекції	Лабораторні роботи (Комп'ютерний практикум)	СРС
Розділ 1 ВСТУП. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА МІКРОСИСТЕМ				
Тема 1.1 Зміст і структура дисципліни «Мікросистемна техніка». Етапи та тенденції розвитку мікросистемної техніки	1,5	1		0,5
Тема 1.2 Особливості розробки та виробництва мікросистемних пристроїв	9,5	1	4	4,5
Разом за розділом 1	11	2	4	5
Розділ 2 СЕНСОРИ ТА МІКРОДАВАЧІ				
Тема 2.1 Мікромеханічні сенсори та давачі на їх основі	20	2	8	10

Тема 2.2 Термоелектричні сенсори та датчики на їх основі	5,5	1	4	0,5
Тема 2.3 Магнітоелектричні та оптичні сенсори і давачі на їх основі	1,5	1		0,5
Тема 2.4 Хімічні та біохімічні сенсори	11	2	4	5
Разом за розділом 2	38	6	16	16
Розділ 3 АКТЮАТОРИ ТА МІКРОМЕХАНІЗМИ				
Тема 3.1 Мікромеханічні актюатори	9,5	1	4	4,5
Тема 3.2 Мікроприводи в пристроях мікрозміщення та мікропозиціонування	9,5	1	4	4,5
Тема 3.3 Термоактюатори	1,5	1		0,5
Тема 3.4 Оптичні актюатори	9,5	1	4	4,5
Тема 3.5 Електрорадіомеханічні та оптоелектромеханічні керовані мікрокомпоненти	3	2		1
Разом за розділом 3	33	6	12	15
Модульна контрольна робота	2			2
Розділ 4 АНАЛІТИЧНІ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ МІКРОСИСТЕМИ				
Тема 4.1 Інтелектуальні та мультисенсорні системи	3	2		1
Тема 4.2 Мініатюрні робототехнічні системи	11	2	4	5
Разом за розділом 4	14	4	4	6
Розрахунково-графічна робота	16			16
Залік	6			6
Всього годин	120	18	36	66

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Лобур М. Основи мікросистемних пристроїв: [Електронний ресурс] : навч. посіб. / М. Лобур, М. Мельник – Електронні текстові дані (1 файл: 3,97 Мбайт). – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2015. – 258 с. – Режим доступу: <http://cad.lp.edu.ua/project/b3.pdf>. – Назва з екрану.
2. Семенець В.В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології [Текст] : підручн. / В.В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – Х.: ТОВ «Компанія СМХТ», 2011. – 416 с.
3. Кособуцький П. С. Мікро- і наноелектромеханічні системи: базові принципи проектування явищ, матеріалів та елементів [Текст] : навч. посіб. / Петро Кособуцький, Михайло Лобур, Володимир Каркульовський – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2017. – 400 с.
4. Моделювання пристроїв МСТ. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : Навч. посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. С. М. Перегудов. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,38 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 78 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/43058>.
4. Доля П. Г. Основи моделювання в COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс] / Доля П. Г.; ХНУ ім. Каразіна. – Електрон. текст. дані (1 файл: 14,58 Мб). – Х.: ХНУ ім. Каразіна, 2019 р. – 529 с. – Режим доступу: http://geometry.karazin.ua/resources/documents/20191219182458_3cc8431d.pdf. – Назва з екрану.

Допоміжна література

5. Теслюк В.М. Розширене проектування мікросистемних пристроїв [Текст] : навч. посіб. / В. Теслюк, А. Зелінський, В. Каркульовський, Я. Василюк – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2016. –

252 с.

6. Войтович І. Д. Інтелектуальні сенсори / І. Д. Войтович, В. М. Корсун-ський. – К. : Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова, 2007. – 513 с.

7. Невлюдов І. Ш. Мікросистемна техніка та нанотехнології [Текст]: монографія / І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – К.: ВИДАННЯ., 2017 р. - 528 с.

8. Невлюдов І. Ш. Технології мікросистемної техніки [Електронний ресурс] / І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін, Е. А. Чалая // Технологія приборостроєння. – 2014. – № 3. – С. 7-10. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Тр_2014_3_4.

9. Невлюдов І. Ш. Технології мікросистемної техніки (частина II) [Електронний ресурс] / І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін, Е. А. Чалая // Технологія приборостроєння. – 2015. – № 2. – С. 5-10. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Тр_2015_2_4.

10. Varadan V.K. RF MEMS and Their Applications / Vijay K. Varadan, K. J. Vinoy, K. A. Jose – John Wiley & Sons, Ltd, 2003. – 408 с.

11. Theodore S. Rappaport. Millimeter Wave Wireless Communications / Theodore S. Rappaport, Robert W. Heath Jr., Robert C. Daniels, James N. Murdock. – Prentice Hall, 2014. – 657 р.

12. Яворський Н.Б. Комп'ютерні методи в інженерії мікроелектромеханічних систем [Текст] : навч. посіб. / Назарій Яворський, Василь Теслюк, Євгенія Литвинова. – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 280 с.

Інформаційні ресурси

I. Microsystems science, technology & components [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.sandia.gov/mstc/index.html>.

II. COMSOL, Inc. ; офіційний сайт [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.comsol.com>.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Розділ 1 ВСТУП. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА МІКРОСИСТЕМ
1	Зміст і структура дисципліни «Мікросистемна техніка». Роль і місце дисципліни у підготовці фахівців у галузі інтелектуальних технологій мікросистемної радіоелектронної техніки. Основні розділи та теми курсу. Види занять, індивідуальні завдання, система оцінювання. Особливості розробки та виробництва мікросистемних пристроїв Мікросистемна техніка – новий технічний напрям. Історія та основні етапи розвитку. Переваги МСТ. Основні елементи та пристрої мікросистемної техніки, фізичні процеси в них, конструктивно-технологічні особливості. Зв'язок з мікроелектронікою та наноелектронікою. Надійність пристроїв МСТ. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, звернути увагу на теми занять, види завдань і систему оцінювання роботи студентів. Література: [1, с. 15-17]; [5, с. 6-11].
	Розділ 2 СЕНСОРИ ТА МІКРОДАВАЧІ
2	Мікромеханічні сенсори та давачі на їх основі Класифікація сенсорів. Характеристики сенсорів: діапазон вимірювання, чутливість, точність, лінійність, селективність. Стандартизація та сертифікація сенсорів. Конструкції елементів мікромеханічних сенсорів. Види перетворювачів: п'єзоелектричні, тензорезистивні, ємнісні. Давачі на основі мікромеханічних перетворювачів: акселерометри та мікрогіроскопи, давачі тиску, пульсацій, зміщення. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції та опрацювати літературних джерел; запам'ятати основні типи мікромеханічних давачів та принципи їх роботи. Література: [3, с. 213-239]; [5, с. 13-25]

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
3	Термоелектричні сенсори та давачі Терморезистивні та термоелектричні сенсори, термомеханічні, піроелектричні перетворювачі. Давачі температури, потоку, рівня рідини, вакууму. Термопари, болометри, термістори, кондуктометри. Магнітоелектричні та оптичні сенсори і давачі Індуктивні перетворювачі. Давачі магнітного поля на ефекті Холла. Магніторезистори, магнітодіоди та магнітотранзистори. Фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори. Давачі світлового потоку та оптичного поглинання. Давачі зміщення та положення на основі оптичних сенсорів. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, вивчити основні принципи дії термоелектричних, магнітоелектричних і оптичних давачів. Література: [1, с. 32-40]; [7, с. 11-25].
4	Хімічні та біохімічні сенсори Електрохімічні сенсори. Термокаталітичні сенсори. Адсорбційні перетворювачі. Давачі складу рідин та газів. Давачі вологості. Біосенсори, їх основні види та принципи дії... Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, запам'ятати класифікацію та галузі застосування хімічних та біологічних сенсорів. Література: [1, с. 107-129]; [5, с. 28-50].
Розділ 3 АКТЮАТОРИ ТА МІКРОМЕХАНІЗМИ	
5	Мікромеханічні актюатори Мікромеханічні приводи руху, їх класифікація та принцип дії. П'єзоелектричні, ємнісні, термомеханічні, електромагнітні та пневматичні актюатори. Мікроприводи руху на ефекті «пам'яті форми». Мікроприводи в пристроях мікрозміщення та мікропозиціонування Мікроважелі. Відбивачі світла. Генератори-вібратори. Пристрої фіксації Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, пояснити принцип дії мікромеханічних актюаторів та мікроприводів. Література: [1, с. 216-218]; [6, с. 95-115].
6	Термоактюатори Мікронагрівачі та мікрохолодильники. Мініатюрні пристрої з тепловими зв'язками. Оптичні актюатори Мікровипромінювачі: світлодіоди, напівпровідникові лазери. Інфрачервоний випромінювач. Мініатюрні пристрої з оптичними зв'язками. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, розглянути роботу термо- та оптичних актюаторів Література: [6, с. 136-158].
7	Електрорадіомеханічні та оптоелектромеханічні керовані мікрокомпоненти Резистори. Котушки індуктивності. Керовані конденсатори. Мікроантени та резонатори. Мікрореле та комутатори. Мікромеханічні компоненти у радіочастотних та надвисокочастотних пристроях. Оптичні резонатори. Мікродзеркала та лінзи. Оптичні затвори, перемикачі. Електрично керовані фільтри оптичного діапазону, їх класифікація та принцип дії. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, розглянути роботу електрорадіомеханічних та оптоелектромеханічних керованих компонентів. Література: [6, с. 166-178].
Розділ 4 АНАЛІТИЧНІ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ МІКРОСИСТЕМИ	
8	Інтелектуальні та мультисенсорні системи Штучний ніс. Штучна мова, мультисенсорні матриці. Біометричні давачі. Мініатюрні аналітичні прилади. Хроматографічний процес. Мікрохроматографи. Мініатюрні медико-біологічні прилади. Матричні мікросистеми. Капілярно-флюїдні мікросистеми. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; визначити принципи дії аналітичних мікросистем. Література: [6, с. 348-414].

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
9	Мініатюрні робототехнічні системи Мініатюрні автономні транспортні системи: наземні, повітряні, космічні. Міні- та мікророботи для медицини та технічної діагностики. Роботи з структурою, що динамічно змінюється. Біоподібні роботи. Перспективи розвитку та застосування мікросистем. Нанотехнології та наносистемна техніка. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; визначити принципи дії та галузі застосування мікроробототехнічних систем. Література: [6, с. 415-457].

Комп'ютерний практикум

Дисципліна «Мікросистемна техніка» належить до циклу професійно-практичної підготовки, тому особлива увага надається практичній складовій процесу навчання.

Основною метою практичних занять є:

- поглиблення та закріплення теоретичних знань;
- освоєння методів та засобів моделювання пристроїв мікросистемної техніки та набуття навичок їх розробки;
- оволодіння методами розрахунку параметрів базових елементів МСТ;
- набуття навичок оформлення графічної та текстової документації, що супроводжує виробу мікросистемної техніки.

Більшість завдань передбачають застосування програмного пакету «COMSOL Multiphysics».

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тема 1.2 Особливості розробки та виробництва мікросистемних пристроїв Моделювання елементів та пристроїв МСТ. Особливості програмного забезпечення Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, ознайомитися з принципами роботи пакету «COMSOL Multiphysics» [4], навчитися будувати базові елементи геометричних моделей пристроїв МСТ. Література: [6, с. 9-54], [4, с. 45-69].
2	Тема 2.1 Мікромеханічні сенсори та давачі на їх основі Розрахунок параметрів п'єзорезистивного давача тиску Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, провести моделювання п'єзорезистивного давача тиску MPX100 в середовищі пакету «COMSOL Multiphysics», розрахувати основні параметри чутливого елементу та побудувати графіки розрахованих характеристик. Література: [1, с. 56-59], [4, с. 477-484].
3	Тема 2.2 Термоелектричні сенсори та датчики на їх основі Резистивний нагрів металевої пластинки Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття – провести моделювання резистивного нагріву металевої пластинки в середовищі «COMSOL Multiphysics» і розрахувати лінійні розміри пластини, використовуючи методику [8]. Література: [4, с. 439-462]; [8, с. 3-12].
4	Тема 2.4 Хімічні та біохімічні сенсори Визначення резонансних частот кантилевера Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал заняття – провести розрахунок резонансних частот консольної балки мікропристрою (кантилевера) та дослідити їх залежність від навантаження, застосовуючи пакет «COMSOL Multiphysics». Література: [1, с. 95-107]; [4, с. 12-16, 357-368].

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
5	Тема 3.1 Мікромеханічні актюатори Розрахунок і аналіз характеристик п'єзоелектричного актюатора балочного типу Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал заняття, розрахувати залежність переміщення актюатора від температури і довжини важеля, за методикою [5], побудувати графіки розрахованих характеристик. Література: [1, с. 40-51]; [4, с. 137-141, 297-301].
6	Тема 3.2 Мікроприводи в пристроях мік-розміщення та мікропозиціонування Моделювання стаціонарних мікропотоків рідини у мікронасосі. Побудова геометричної моделі, задання рівнянь та граничних умов. Визначення основних характеристик і параметрів мікронасосу Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, побудувати геометричну модель мікронасосу в пакеті «COMSOL Multiphysics», задати фізичні моделі пристрою та граничні умови. Література: [8, с. 408-416].

Лабораторні заняття

Основна мета лабораторних занять:

- перевірка набутих теоретичних знань на практиці;
- набуття навичок роботи з вимірювальними приладами та обладнанням;
- оволодіння методами вимірювання параметрів та зняття характеристик;
- набуття навичок оцінки експериментальних даних та оформлення висновків.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Визначення параметрів та характеристик п'єзорезистивного давача тиску Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекцій 9 і 10 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
2	Дослідження характеристик мікроелектромеханічного акселерометра Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекцій 7, 8 і 11 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
3	Визначення характеристик мікродзеркала осцилографічного гальванометра Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції 17 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
4	Дослідження чутливого елемента давача тиску MPX100 Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції 5 і 6 та підготуватися до виконання лабораторної роботи: побудувати модель п'єзорезистивного чутливого елемента в середовищі COMSOL Multiphysics [6], провести моделювання; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
5	Аналіз роботи електроосмотичного мікронасоса Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції 4 і 8 та підготуватися до виконання лабораторної роботи: побудувати модель мікронасосу в середовищі COMSOL Multiphysics [6], провести моделювання; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
6	Дослідження властивостей давача дихлорметану на поверхневих акустичних хвилях Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекцій 12 і 13 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; побудувати в середовищі COMSOL Multiphysics [6] модель давача дихлорметану, провести моделювання; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3

6. Самостійна робота студента

Студенти виконують завдання для самостійної роботи, які зазначені у п. 5, а також в методичних рекомендаціях до комп'ютерного практикуму та лабораторних занять відповідно до календарного графіку навчального процесу. Протягом семестру ними має бути виконана домашня контрольна робота (ДКР). Приблизна тематика завдань до ДКР приведена у додатку п.9.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Лабораторні заняття є обов'язковими до відвідування та виконання завдання. У разі їх пропуску, має бути відпрацювання або під час консультації, або з іншими групами за попередньою домовленістю з викладачем.

У разі пропуску лекцій або практичного заняття, студент має виконати передбачені завдання та пройти співбесіду з викладачем за матеріалами пропущеного заняття. Співбесіда проводиться під час консультацій за розкладом. Матеріали лекції та практичних занять із завданнями розміщені на ресурсі Google classroom, доступ до якого студенти отримують на початку семестра.

Допуск до лабораторних занять та захист звіту про виконану роботу

Перед лабораторною роботою студенти проходять співбесіду з викладачем, за результатами якої приймається рішення про допуск до її виконання.

Захист звіту про проведену лабораторну роботу проходить на наступному за розкладом лабораторному занятті. Оцінка, яку студент отримує за лабораторне заняття складається з балів, одержаних під час допуску да захисту. Кількість балів вказана в рейтинговій системі оцінювання (п.8).

Захист домашньої контрольної роботи

Захист ДКР проходить на консультаціях за розкладом в останні два тижні семестру або, за попередньою домовленістю з викладачем, в інший час. Оцінка за ДКР має дві складові: за пояснювальну записку та за відповіді під час захисту. Підсумкова оцінка оголошується під час захисту.

Перездачу ДКР не передбачено.

Заохочувальні та штрафні бали і політика щодо академічної доброчесності

Найбільш активні студенти, зокрема ті, що виконують зразково, завдання за матеріалами занять, можуть отримати від 1 до 10 балів до семестрового рейтингу.

Штрафні бали застосовуються, якщо студент видає результати чужої роботи за власні. У цьому разі він має виконати завдання повторно.

Політика дедлайнів і перескладень

Кінцевий термін здачі індивідуальних завдань (ДКР), заліку та перескладень визначається розкладом, затвердженим деканом факультету. У разі його порушення оцінка знижується на 10%.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Перед другою атестацією студенти виконують модульну контрольну роботу (МКР). Завдання МКР складається з питань, що виносяться на семестровий контроль (п.9), за виключенням тих, які не були розглянуті на заняттях.

Навчальним планом дисципліни «Мікросистемна техніка» передбачено таку рейтингову систему оцінювання успішності студентів.

Рейтинг студента складається з балів (за 100-бальною шкалою), які він отримує за:

1. поточний контроль засвоєння лекційного матеріалу (у середньому 5 відповідей кожного студента);
2. відповіді на практичних заняттях (у середньому 5 відповідей кожного студента);
3. виконання та захист 5 лабораторних робіт;
4. домашню контрольну роботу (ДКР);
5. модульну контрольну роботу (МКР).

Кількість балів та критерії оцінювання визначаються таким чином.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Поточний контроль на лекціях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів за 16 лекцій дорівнює:

2 бали $\times$ 5 = 10 балів.

Критерії оцінювання :

- повна відповідь 2 бали;
- задовільна відповідь 1 бал;
- незадовільна відповідь 0 балів.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях (за винятком 1-го) дорівнює:

2 бали $\times$ 5 = 10 балів.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь 2 бали;

- задовільна відповідь 1 бал;
- незадовільна відповідь 0 балів.

3. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 6. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює: 5 балів $\cdot 6 = 30$ балів.

По кожній із лабораторних робіт оцінюються :

а) підготовленість до роботи:

- вільне володіння теоретичним матеріалом, наявність підготовленого протоколу 2 бал;
- невідповідність до лабораторної роботи (недопуск) 0 балів;

б) виконання лабораторної роботи:

- оформлення звіту відповідно до вимог 1 бал;
- робота виконана з помилками або неохайно 0 балів;
- робота не виконана в строк (через відсутність на занятті без поважної причини) -2 бали;

в) захист роботи:

- повна відповідь при захисті 3 бали;
- задовільна відповідь при захисті 2 бали;
- неповна відповідь при захисті 1 бал;
- робота захищена в інший день 0 балів.

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Ваговий бал – 20.

Критерії оцінювання:

- повні відповіді на всі контрольні запитання . від 17 до 20 балів;
- правильні відповіді на більшість контрольних запитань від 10 до 16 балів;
- неправильні відповіді на більшість контрольних запитань від 0 до 9 балів.

5. Домашня контрольна робота (ДКР)

Ваговий бал – 30.

Критерії оцінювання:

- повне розкриття теми завдання і володіння нею з відображенням власної
- позиції та відповідним оформленням роботи від 25 до 30 балів;
- достатнє розкриття теми завдання з незначними помилками від 16 до 24 балів;
- достатнє розкриття теми, допущені помилки,
- неякісне оформлення роботи, від 7 до 15 балів;
- неповне або поверхнєве розкриття теми, неякісне оформлення роботи. від 1 до 6 балів;
- тема не розкрита, завдання не виконано 0 балів.

6. Штрафні бали за:

- недопуск до лабораторної роботи у зв'язку з незадовільним вхідним контролем -1 бал;
- відсутність на лекції, практичному або лабораторному занятті
- без поважної причини -1 бал;
- несвоєчасне (пізніше ніж на тиждень) виконання МКР -2 бали.

Сума штрафних балів не має перевищувати $R_s = 10$ балів.

Розрахунок (RD) рейтингу за семестр

Сума максимально можливих балів контрольних заходів (позиції 1-5) протягом семестру складає:

$$R = 10 + 10 + 30 + 20 + 30 = 100 \text{ балів.}$$

Умови позитивної проміжної атестації

- Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 16 балів («ідеальний» студент – 32 бали).
- Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 32 бали («ідеальний» студент – 64 бали).

Максимальна сума балів складає 100. Необхідною умовою допуску до заліку є зарахування усіх лабораторних робіт і ДКР.

Для отримання заліку з кредитного модуля «автоматом» потрібно мати рейтинг не менш ніж 60 балів і зарахування усіх лабораторних робіт і РГР.

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку, виконують залікову контрольну роботу. При цьому до балів за ДКР та лабораторні роботи слід додати бали за контрольну роботу, і ця рейтингова оцінка є остаточною. Завдання контрольної роботи складається з чотирьох запитань з різних розділів робочої програми з переліку, що наданий у методичних рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля.

За кожне питання студент може отримати бали відповідно до системи оцінювання:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) 9-10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) 7-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) 5-6 балів;
- «достатньо», неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації) 3-4 бали;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 50% потрібної інформації) 0-2 бали.

Суму балів студента у випадку отримання заліку з кредитного модуля «автоматом», або суму балів за ДКР, лабораторні роботи та залікову контрольну роботу слід трансформувати у залікову оцінку за таблицею:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Приблизна тематика завдань на ДКР

Для визначення параметрів механічного сигналу використовується мікродавач, первинний чутливий елемент складається з інерційної маси, підвішеної над підкладкою за допомогою консольних балок, закріплених на поверхні підкладки в області якоря. Основа інерційної маси розташована паралельно поверхні підкладки і має розміри a та b , а її висота — h . Довжина кожної балки дорівнює l , а її поперечний переріз має вигляд прямокутника шириною w , паралельною поверхні підкладки та товщиною t . Поруч з чутливим елементом на поверхні підкладки розташований нерухомий електрод ємнісного перетворювача. Варіанти конструкції чутливого елемента показані на рис. 1, а геометричні розміри приведені в табл. 1. Матеріал — полікристалічний кремній.

Тип мікродавача у варіантах з парними номерами — MEMC акселерометр, а з непарними — MEMC гіроскоп. Виконати таке завдання.

1. Описати функціональне призначення мікродавача, його структуру та конструкцію первинного чутливого елемента згідно з отриманим варіантом. Пояснити яким чином відповідний механічний сигнал перетворюється в електричний і як він залежить від параметрів та характеристик чутливого елемента.

2. Побудувати в середовищі пакета *COMSOL Multiphysics* модель і обґрунтувати її та провести за її допомогою дослідження характеристик чутливого елемента, а саме:

- визначити частоти власних механічних коливань елемента;
- вибрати ті з них, які відповідають коливанням в напрямку нерухомого електроду ємнісного перетворювача;
- проаналізувати вплив таких коливань на характеристики мікродавача, зокрема на робочий діапазон частот сигналу, що вимірюється.

3. Згідно з отриманим варіантом конструкції чутливого елемента описати основні технологічні етапи його виготовлення за технологією MUMPs, використовуючи конспекти лекцій, посібник [1] та інші джерела інформації.

4. Оформити результати роботи у вигляді пояснювальної записки.

Варіант	Ескіз	a	h ^x	l ^x	w	t ^x
1	рис. 1а	200	10	200	3	3
2	рис. 1б	200	10	200	5	5
3	рис. 1в	250	10	280	4	5
4	рис. 1г	200	10	150	5	3
5	рис. 1а	250	12	250	5	5
6	рис. 1б	250	10	300	3	5
7	рис. 1в	300	10	350	3	5
8	рис. 1г	300	10	300	5	3
9	рис. 1а	250	15	300	7	5
10	рис. 1б	280	15	300	5	6
11	рис. 1в	280	15	280	5	5
12	рис. 1г	280	15	300	10	5
13	рис. 1а	300	12	250	6	3
14	рис. 1б	300	15	250	8	5
15	рис. 1в	280	12	300	7	6
16	рис. 1г	300	12	280	8	6
17	рис. 1а	300	20	300	5	5
18	рис. 1б	300	20	300	10	5
19	рис. 1в	300	15	300	7	7
20	рис. 1г	300	10	250	10	6
21	рис. 1а	400	7	250	7	7
22	рис. 1б	400	7	250	7	7
23	рис. 1в	350	10	350	10	10
24	рис. 1г	400	10	300	7	6
25	рис. 1а	450	8	300	8	6
26	рис. 1б	450	8	250	10	6
27	рис. 1в	400	10	400	5	5
28	рис. 1г	480	7	240	7	8
29	рис. 1а	500	10	300	15	10
30	рис. 1б	500	10	300	10	8
31	рис. 1в	500	15	450	10	10
32	рис. 1г	500	8	250	10	8

2. Перелік питань, що виносяться на семестровий контроль:

1. Особливості конструкції та технології пристроїв МСТ.
2. Основні принципи моделювання МСТ пристроїв.
3. Критерії подібності, їх застосування у моделюванні пристроїв МСТ
4. Кремнієва об'ємна мікрообробка
5. Технології поверхневої мікрообробки
6. Основні етапи та особливості технології LIGA
7. Технологія MUMPs
8. Основні положення механіки пружних середовищ
9. Кремній як механічний матеріал для елементів мікропристроїв
10. Принцип дії та застосування електростатичних актюаторів
11. Власні коливання механічної системи
12. Змуснені механічні коливання та резонанс
13. Демпфування коливань елементів МСТ
14. Фізичні основи та принцип дії електромеханічних пристроїв МСТ
15. Основні параметри п'єзоперетворювачів МСТ
16. Використання п'єзоефекту для приймання акустичних хвиль
17. П'єзоелектричні виконавчі пристрої
18. Види механічних сенсорів.
19. Мікросенсори переміщень
20. Мікросенсори тиску та деформацій
21. Лінійні та кутові мікромеханічні акселерометри
22. Конструктивні особливості та застосування МСТ акселерометрів
23. Принцип дії мікромеханічних гіроскопів (ММГ)
24. Класифікація та особливості конструкції ММГ
25. Мікромеханічні гіроскопи за технологією iMEMS
26. Комутаційні пристрої мікросистем
27. Мікропристрої на основі поверхнево-акустичних хвиль
28. Резистивні, ємнісні та імпедансні чутливі мікроелементи та пристрої
29. Вольтаїчні пристрої МСТ на діодах та біполярних транзисторах
30. Електрохімічні пристрої мікросистемної техніки.
31. Принцип роботи електрохімічних сенсорів.
32. Потенціометричні електрохімічні сенсори
33. Кондуктометричні та імпедансні сенсори.
34. Амперометричні та кулонометричні сенсори
35. Хімічно чутливі пристрої МСТ на польових транзисторах
36. Інтегральні мікродзеркала
37. МОЕМС технології генерації та сканування оптичної інформації
38. Перспективи MEMS-технології для НВЧ застосувань.
39. Компоненти МСТ ВЧ і НВЧ діапазонів

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Практичні заняття, в яких передбачено застосування програмного пакету «COMSOL Multiphysics», проводяться в комп'ютерних класах (402-17, 404-17), які мають 18 робочих місць з інстальованою демо-версією програми. Для виконання завдань практичних занять розроблено посібник, а також методичні рекомендації, які розміщені в Google classroom.

Лабораторні заняття проводяться у навчальній лабораторії (408-17) з макетами для виконання робіт, зазначених у п. 5. Методичні рекомендації до робіт розміщені в Google classroom.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено [Перегудов С. М.](#);

Ухвалено кафедрою ПРЕ (протокол № 06/2025 від 24.06.2025)

Погоджено методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06/2025 від 25.06.2025)